



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112985610 A

(43) 申请公布日 2021.06.18

(21) 申请号 202110167828.6

(22) 申请日 2021.02.07

(71) 申请人 中南大学

地址 410083 湖南省长沙市麓山南路932号

(72) 发明人 陈致蓬 桂卫华 阳春华

(74) 专利代理机构 长沙朕扬知识产权代理事务  
所(普通合伙) 43213

代理人 易瑶

(51) Int. Cl.

G01J 5/00 (2006.01)

G01S 17/08 (2006.01)

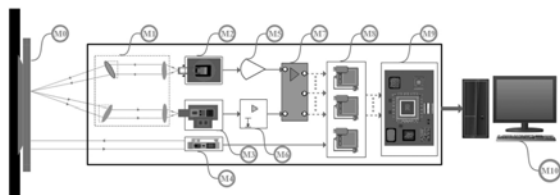
权利要求书3页 说明书9页 附图2页

(54) 发明名称

一种THz回波高温温度测量装置

(57) 摘要

本发明公开了一种THz回波高温温度测量装置,包括THz信号采集处理FPGA模块和与THz信号采集处理FPGA模块连接的THz信号转换和处理GPGPU模块,其中THz信号采集处理FPGA模块,用于采集THz参考信号时域谱、THz回波信号时域谱以及被测高温对象与THz回波高温温度测量装置之间的距离,THz信号转换和处理GPGPU模块,用于根据THz参考信号时域谱、THz回波信号时域谱以及距离获得被测高温对象的温度值,解决了现有非接触式测温装置在复杂恶劣环境下对高温物体温度检测精度低的技术问题,巧妙利用太赫兹波穿透性强的特点,在保证复杂环境中还能接受到太赫兹信号,从而对被测高温源进行精确测温,同时具有非接触的特点,这对于高温物体复杂环境内的测温具有重要意义。



1. 一种THz回波高温温度测量装置,其特征在于,所述THz回波高温温度测量装置包括THz信号采集处理FPGA模块(U1)和与所述THz信号采集处理FPGA模块(U1)连接的THz信号转换和处理GPGPU模块(U2),其中:

所述THz信号采集处理FPGA模块(U1),用于采集THz参考信号时域谱、THz回波信号时域谱以及被测高温对象(M0)与THz回波高温温度测量装置之间的距离;

所述THz信号转换和处理GPGPU模块(U2),用于根据所述THz参考信号时域谱、所述THz回波信号时域谱以及距离获得被测高温对象(M0)的温度值。

2. 根据权利要求1所述的THz回波高温温度测量装置,其特征在于,所述THz信号采集处理FPGA模块(U1)包括THz波采集光学镜头(M1)、和与所述THz波采集光学镜头(M1)依次连接的THz量子级联激光器QCL(M2)、THz量子阱探测器QWP(M3)、激光雷达测距仪(M4)、锁相放大器LIA(M7)以及THz信号采集处理单元(M8),其中:

所述THz量子级联激光器QCL(M2),用于生成指定THz频率的THz源信号与THz参考信号,其中所述THz源信号用于通过所述THz波采集光学镜头(M1)传输并聚焦到被测高温对象(M0)上;

所述THz量子阱探测器QWP(M3),用于检测所述THz源信号经被测高温对象(M0)反射的THz回波;

所述激光雷达测距仪(M4),用于测量被测高温对象(M0)与THz回波高温温度测量装置之间的距离;

所述锁相放大器LIA(M7),用于根据参考信号和THz回波分别提取THz参考信号时域谱和THz回波信号时域谱,以及接收所述激光雷达测距仪(M4)输出的距离;

所述THz信号采集处理单元(M8),用于对所述THz参考信号时域谱、THz回波信号时域谱以及距离进行采集处理,并将所述THz参考信号时域谱、THz回波信号时域谱以及距离输出给所述THz信号转换和处理GPGPU模块(U2)。

3. 根据权利要求2所述的THz回波高温温度测量装置,其特征在于,所述THz信号采集处理FPGA模块(U1)还包括信号放大器(M5)和源信号前置放大器(M6),其中:

所述信号放大器(M5),用于对所述THz参考信号进行放大;

所述源信号前置放大器(M6),用于对所述THz回波进行放大。

4. 根据权利要求3所述的THz回波高温温度测量装置,其特征在于,所述THz信号采集处理单元(M8)包括THz时域信号输入子单元(S5)、激光测距信号输入子单元(S6)、FPGA THz参考信号及回波信号时域谱采集子单元(S3)、FPGA激光雷达测距信号实时高精度采集子单元(S2)、FPGA THz信号采集处理子单元(S1)、DDR4闪存子单元(S4)以及THz参考信号及回波信号时域谱及激光雷达测距信号输出子单元(S7),其中:

所述THz时域信号输入子单元(S5),用于输入THz参考信号时域谱和THz回波信号时域谱;

所述激光测距信号输入子单元(S6),用于输入激光雷达测距仪(M4)输出的距离;

所述FPGA THz参考信号及回波信号时域谱采集子单元(S3),用于根据编写的预置信号采样算法和模数转换算法,对THz参考信号时域谱、THz回波信号时域谱进行采集;

所述FPGA激光雷达测距信号实时高精度采集子单元(S2),用于对所述距离进行采集;

所述FPGA THz信号采集处理子单元(S1),用于对THz参考信号时域谱、THz回波信号时

域谱以及距离进行采集处理；

所述DDR4闪存子单元(S4)，用于储存处理好的THz参考信号时域谱、THz回波信号时域谱以及距离；

所述THz参考信号及回波信号时域谱及激光雷达测距信号输出子单元(S7)，用于将采集处理后的THz参考信号时域谱、THz回波信号时域谱以及距离输出给所述THz信号转换和处理GPGPU模块(U2)。

5. 根据权利要求1-4任一所述的THz回波高温温度测量装置，其特征在在于，所述THz信号转换和处理GPGPU模块(U2)包括MPU众核处理机(D1)、预设核心处理任务单元(D7)、代码命令编辑执行区单元(D9)和数据总线单元(D8)，其中：

所述MPU众核处理机(D1)，用于处理任务命令，且所述任务命令包括对THz参考信号时域谱和THz回波信号时域谱进行线性快速傅立叶变换，获得THz参考信号频域幅值谱和THz回波信号频域幅值谱，提取指定工作THz频率下THz参考信号频域幅值谱与THz回波信号频域幅值谱的幅值偏差量，采集被测高温对象(M0)与THz回波高温温度测量装置之间的距离以及基于THz回波测温模型计算被测高温对象(M0)的温度，所述基于THz回波测温模型通过对输入数据和输出数据进行拟合获得，所述输入数据为标定的距离和幅值偏差量，所述输出数据为与所述距离和幅值偏差量对应的温度值；

其中，所述MPU众核处理机(D1)处理对THz回波信号时域谱进行线性快速傅立叶变换，获得THz回波信号频域幅值谱的任务命令包括利用传统快速傅立叶变换算法，对所述THz回波信号时域谱进行变换，对采用传统快速傅立叶变换后的THz回波信号时域谱，进行线性快速傅立叶变换，获得THz回波信号频域幅值谱，其中线性快速傅立叶变换的计算公式为：

$$\begin{cases} \dot{A}_k = 2u_k \sum_{n=0}^{N-1} \frac{x_n}{N} e^{-jnk\frac{2\pi}{N}} - Z_k \frac{x_0 - x_N}{N} = 2u_k \dot{A}_{kF} - Z_k F \\ Z_k = u_k + jv_k \\ F = \frac{x_0 - x_N}{N} \end{cases}, \text{其中}, \begin{cases} u_k = \frac{N^2}{4k^2\pi^2} \left( 1 - \cos \frac{2k\pi}{N} \right) \\ v_k = \frac{N}{2k\pi} - \frac{N^2}{4k^2\pi^2} \sin \frac{2k\pi}{N}, \dot{A}_k \\ \text{当} k=0, u_0 = \frac{1}{2}, v_0 = 0 \end{cases}$$

代表k次谐波的复振幅， $\dot{A}_{kF}$ 为传统的FFT算法傅立叶变换后的THz回波信号时域谱结果， $x_0$ ， $x_n$ 为信号离散的采样点， $Z_k x_0, x_n$ 为变换辅助复数， $u_k$ 为辅助复数的实部， $v_k$ 辅助复数的虚部，为N为采样点数，F为采样步长，k代表第k个采样变换点；

所述预设核心处理任务单元(D7)，用于预先储存待处理任务的算法和对应的任务命令，所述算法包括THz信号线性快速傅立叶变换算法、提取指定工作THz频率下幅值偏差量算法和构建基于测温距离和幅值偏差的THz回波测温模型算法；

所述代码命令编辑执行区单元(D9)，用于获取上游和下游设备发送给MPU众核处理机(D1)的任务命令，并实现好任务调度、任务配置和任务管理功能；

所述数据总线单元(D8)，用于数据交换和提供数据传输交换通道。

6. 根据权利要求5所述的THz回波高温温度测量装置，其特征在在于，所述MPU众核处理机(D1)包括通过PCI-E主板(D4)总线互连的众核控制子单元(D2)和众核处理器(D3)。

7. 根据权利要求6所述的THz回波高温温度测量装置，其特征在在于，所述众核控制子单

元 (D2) 包含主存RAM (D5), 所述众核处理器 (D3) 包括存储ROM (D6)。

8. 根据权利要求7所述的THz回波高温温度测量装置, 其特征在于, 所述THz波采集光学镜头 (M1) 由太赫兹镜片离轴抛物镜、BS光学镜片和PM镜片组成。

9. 根据权利要求8所述的THz回波高温温度测量装置, 其特征在于, 所述THz回波高温温度测量装置还包括用于与上位机 (M10) 通讯的上位机通讯模块 (U3)。

10. 根据权利要求9所述的THz回波高温温度测量装置, 其特征在于, 所述THz回波高温温度测量装置具体为THz回波高温温度测量仪。

## 一种THz回波高温温度测量装置

### 技术领域

[0001] 本发明主要涉及测温技术领域,特指一种THz (TeraHertz太赫兹) THz回波高温温度测量装置。

### 背景技术

[0002] THz频段(0.1-10THz)是一个非常有科学和实用价值但尚未被完全认识和利用的最后一个电磁辐射区域。由于THz频段范围处于电子学与光子学的交叉领域,波长尺度处于宏观经典理论向微观量子理论的过渡区,其长波方向与毫米波有重叠,而短波方向又与红外线有重叠。这导致处于该频段范围的THz波即具有微波的强穿透性又具有红外线可测温的特性。利用THz波这一奇特特性,研制基于THz波的高温温度测量设备,一直被认为是在强干扰环境下、特别是强粉尘的工业环境下,实现非接触、高效、高精度和高稳定性测温的最佳技术途径。但以前受限于THz波产生和感知技术不成熟、相关设备体积大,成本高,造成基于THz波的测温技术和装置鲜有报道。近年来,随着THz量子级联激光器技术(Quantum Cascade Lasers,QCL)和基于GaAs/(Al,Ga)As量子阱子带跃迁效应的THz量子阱探测器(Quantum Well Photodetectors,QWP)技术的高速发展和成熟,使得THz波的产生和感知设备的成本下降、体积更小。这就为研制具有实用价值的高端前沿工业传感器成为可能。因此,本专利基于成熟小型化的THz量子级联激光器(QCL)和THz量子阱探测器(QWP),并通过将THz回波高温温度测量算法嵌入化到高速处理芯片(如FPGA、众核处理机GPGPU)中,研制了一种小型化的THz回波高温温度测量装置。

[0003] 专利公布号CN110044493A发明专利公开了一种红外测温方法及装置,所述红外测温方法包括:调用红外传感器采集待检测物体的红外线,并将采集到的红外线转换为电信号;调用放大器对采集到的电信号进行放大处理,获取放大后的电信号的强度值;将获取到的电信号的强度值输入至微处理器,通过微处理器按照预先存储的映射关系计算出所述待检测物体的温度,并输出。该专利通过将近距离采集物体的红外线转换成的电信号进行低倍数放大后得到的电信号值与温度的关系计算得到温度值,取消了传统红外测温方法中使用的光学透镜,构造简单、降低了红外测温的成本,实现了近距离准确测温。但红外测温的致命问题仍然存在,即当空间布满粉尘时,两个对比红外光线被阻挡,而造成接受的红外能量降低,导致测量温度极低,完全偏离了被测对象真实温度。因此,该装置不适用于粉尘浓度大的工业测温环境,实际使用受到了严重制约。

[0004] 专利公布号CN103048061A发明专利是当前少有的利用THz波测温高温对象的温度的装置专利,该专利公开了一种反射太赫兹谱技术检测偏滤器石墨瓦瞬态温度的装置,太赫兹波发射装置透过窗口向石墨瓦垂直射入太赫兹波,激光测距模块测量探头到石墨瓦之间距离,同时探头测量并记录工作温度下由石墨瓦反射回的太赫兹时域波谱,并将其在有效频域内做傅里叶变换得到工作温度下频域谱;将石墨瓦工作温度与标定温度太赫兹频域谱的频移距离和数据库相对比,以此可计算出石墨瓦所处环境的温度,从而实现对石墨瓦的温度进行实时测量。该专利装置较为新颖,但在专利装置中并没有使用当前最先进的THz

源产生和检测装置,如THz量子级联激光器(QCL)和THz量子阱探测器(QWP),则产生THz波的功率通常非常小,所以在检测THz波信号时必须采用锁相放大器来提取淹没在噪声中THz时域谱,而锁相放大器必须事先给定所提信号的频率成份。而从上述专利的技术路径来看,要实现专利中所提技术,则需检测出反射回的THz波信号的特征频率,从而计算其与标准特征频率间的偏移量,这在当前的THz检测技术上较难实现,因此该专利所提的基于THz波的高温测量装置,短期还难真正应用于工业。

## 发明内容

[0005] 本发明提供的THz回波高温温度测量装置,解决了现有非接触式测温装置在复杂恶劣环境下对高温物体温度检测精度低的技术问题。

[0006] 为解决上述技术问题,本发明提出的THz回波高温温度测量装置包括THz信号采集处理FPGA模块和与THz信号采集处理FPGA模块连接的THz信号转换和处理GPGPU模块,其中:

[0007] THz信号采集处理FPGA模块,用于采集THz参考信号时域谱、THz回波信号时域谱以及被测高温对象与THz回波高温温度测量装置之间的距离;

[0008] THz信号转换和处理GPGPU模块,用于根据THz参考信号时域谱、THz回波信号时域谱以及距离获得被测高温对象的温度值。

[0009] 进一步地,THz信号采集处理FPGA模块包括THz波采集光学镜头、和与THz波采集光学镜头依次连接的THz量子级联激光器QCL、THz量子阱探测器QWP、激光雷达测距仪、锁相放大器LIA以及THz信号采集处理单元,其中:

[0010] THz量子级联激光器QCL,用于生成指定THz频率的THz源信号与THz参考信号,其中THz源信号用于通过THz波采集光学镜头传输并聚焦到被测高温对象上;

[0011] THz量子阱探测器QWP,用于检测THz源信号经被测高温对象反射的THz回波;

[0012] 激光雷达测距仪,用于测量被测高温对象与THz回波高温温度测量装置之间的距离;

[0013] 锁相放大器LIA,用于根据参考信号和THz回波分别提取THz参考信号时域谱和THz回波信号时域谱,以及接收激光雷达测距仪输出的距离;

[0014] THz信号采集处理单元,用于对THz参考信号时域谱、THz回波信号时域谱以及距离进行采集处理,并将THz参考信号时域谱、THz回波信号时域谱以及距离输出给THz信号转换和处理GPGPU模块。

[0015] 进一步地,THz信号采集处理FPGA模块还包括信号放大器和源信号前置放大器,其中:

[0016] 信号放大器,用于对THz参考信号进行放大;

[0017] 源信号前置放大器,用于对THz回波进行放大。

[0018] 进一步地,THz信号采集处理单元包括THz时域信号输入子单元、激光测距信号输入子单元、FPGA THz参考信号及回波信号时域谱采集子单元、FPGA激光雷达测距信号实时高精度采集子单元、FPGA THz信号采集处理子单元、DDR4闪存子单元以及THz参考信号及回波信号时域谱及激光雷达测距信号输出子单元,其中:

[0019] THz时域信号输入子单元,用于输入THz参考信号时域谱和THz回波信号时域谱;

[0020] 激光测距信号输入子单元,用于输入激光雷达测距仪输出的距离;

[0021] FPGA THz参考信号及回波信号时域谱采集子单元,用于根据编写的预置信号采样算法和模数转换算法,对THz参考信号时域谱、THz回波信号时域谱进行采集;

[0022] FPGA激光雷达测距信号实时高精度采集子单元,用于对距离进行采集;

[0023] FPGA THz信号采集处理子单元,用于对THz参考信号时域谱、THz回波信号时域谱以及距离进行采集处理;

[0024] DDR4闪存子单元,用于储存处理好的THz参考信号时域谱、THz回波信号时域谱以及距离;

[0025] THz参考信号及回波信号时域谱及激光雷达测距信号输出子单元,用于将采集处理后的THz参考信号时域谱、THz回波信号时域谱以及距离输出给THz信号转换和处理GPGPU模块。

[0026] 进一步地,THz信号转换和处理GPGPU模块包括MPU众核处理机、预设核心处理任务单元、代码命令编辑执行区单元和数据总线单元,其中:

[0027] MPU众核处理机,用于处理任务命令,且任务命令包括对THz参考信号时域谱和THz回波信号时域谱进行线性快速傅立叶变换,获得THz参考信号频域幅值谱和THz回波信号频域幅值谱,提取指定工作THz频率下THz参考信号频域幅值谱与THz回波信号频域幅值谱的幅值偏差量,采集被测高温对象与THz回波高温温度测量装置之间的距离以及基于THz回波测温模型计算被测高温对象的温度,基于THz回波测温模型通过对输入数据和输出数据进行拟合获得,输入数据为标定的距离和幅值偏差量,输出数据为与距离和幅值偏差量对应的温度值;

[0028] 其中,MPU众核处理机处理对THz回波信号时域谱进行线性快速傅立叶变换,获得THz回波信号频域幅值谱的任务命令包括利用传统快速傅立叶变换算法,对THz回波信号时域谱进行变换,对采用传统快速傅立叶变换后的THz回波信号时域谱,进行线性快速傅立叶变换,获得THz回波信号频域幅值谱,其中线性快速傅立叶变换的计算公式为:

$$[0029] \begin{cases} \dot{A}_k = 2u_k \sum_{n=0}^{N-1} \frac{x_n}{N} e^{-jnk \frac{2\pi}{N}} - Z_k \frac{x_0 - x_n}{N} = 2u_k \dot{A}_{kF} - Z_k F \\ Z_k = u_k + jv_k \\ F = \frac{x_0 - x_N}{N} \end{cases}, \text{其中}, \begin{cases} u_k = \frac{N^2}{4k^2\pi^2} \left( 1 - \cos \frac{2k\pi}{N} \right) \\ v_k = \frac{N}{2k\pi} - \frac{N^2}{4k^2\pi^2} \sin \frac{2k\pi}{N}, \dot{A}_k \\ \text{当} k=0, u_0 = \frac{1}{2}, v_0 = 0 \end{cases}$$

代表k次谐波的复振幅,  $\dot{A}_{kF}$  为传统的FFT算法傅立叶变换后的THz回波信号时域谱结果,  $x_0$ ,  $x_n$  为信号离散的采样点,  $Z_k x_0, x_n$  为变换辅助复数,  $u_k$  为辅助复数的实部,  $v_k$  辅助复数的虚部, 为N为采样点数, F为采样步长, k代表第k个采样变换点;

[0030] 预设核心处理任务单元,用于预先储存待处理任务的算法和对应的任务命令,算法包括THz信号线性快速傅立叶变换算法、提取指定工作THz频率下幅值偏差量算法和构建基于测温距离和幅值偏差的THz回波测温模型算法;

[0031] 代码命令编辑执行区单元,用于获取上游和下游设备发送给MPU众核处理机的任务命令,并实现好任务调度、任务配置和任务管理功能;

[0032] 数据总线单元,用于数据交换和提供数据传输交换通道。

[0033] 进一步地,MPU众核处理机包括通过PCI-E主板总线互连的众核控制子单元和众核

处理器。

[0034] 进一步地,众核控制子单元包含主存RAM,众核处理器包括存储ROM。

[0035] 进一步地,THz波采集光学镜头由太赫兹镜片离轴抛物镜、BS光学镜片和PM镜片组成。

[0036] 进一步地,THz回波高温温度测量装置还包括用于与上位机通讯的上位机通讯模块。

[0037] 进一步地,THz回波高温温度测量装置具体为THz回波高温温度测量仪。

[0038] 与现有技术相比,本发明的优点在于:本发明提供的THz回波高温温度测量装置,包括THz信号采集处理FPGA模块和与THz信号采集处理FPGA模块连接的THz信号转换和处理GPGPU模块,其中THz信号采集处理FPGA模块,用于采集THz参考信号时域谱、THz回波信号时域谱以及被测高温对象与THz回波高温温度测量装置之间的距离,THz信号转换和处理GPGPU模块,用于根据THz参考信号时域谱、THz回波信号时域谱以及距离获得被测高温对象的温度值,解决了现有非接触式测温装置在复杂恶劣环境下对高温物体温度检测精度低的技术问题,巧妙利用太赫兹波穿透性强的特点,在保证复杂环境中还能接受到太赫兹信号,从而对被测高温源进行精确测温,同时具有非接触的特点,这对于高温物体复杂环境内的测温具有重要意义。

[0039] 此外,本发明的回波高温温度测量装置,通过先主动发射功率可控可调的待测高温对象测温敏感的THz频段波,照射到高温对象上,由于高温对象本身也会辐射该频段的THz波,且该频段THz波的辐射强度随温度正相关变化,导致从高温对象上反射回来的THz回波能量叠加了高温对象在该频段自身辐射THz波的能量,使THz回波能量达到了足够的能量裕度,能被QWP探测器探测到。同时为了提高THz回波信号反应被测对象温度信息的信噪比,在探测到指定工作THz频率 $T_s$ 下THz回波信号的幅值(能量强度)后,将其与参考THz波信号的幅值进行做差,提取该频段发射的参考THz波和测量的THz回波幅值偏差量 $\Delta E$ ,作为反应被测对象温度高低的关键量,从而达到提高THz回波信号反应被测对象温度信息的信噪比的目的,进而提高测温精度。

[0040] 本发明的目的在于为THz信号采集,设计了THz信号采集探头和信号采集处理的FPGA模块,用于测温所需的THz参考信号和回波信号时域谱的采集;

[0041] 本发明的目的在于基于众核处理机(GPGPU),设计了THz信号转换和处理模块,用于将THz信号时域谱转换成频域谱,并提取幅值偏差量 $\Delta E$ ,同时结合THz回波温度模型获得被测对象的温度;

[0042] 本发明的目的在于设计了一种THz回波高温温度测量装置,为利用THz波的强穿透性,解决恶劣环境中非接触式测温精度不高、波动大、实用性差的难题,实现高粉尘、强干扰等恶劣环境下实时高精度测温奠定扎实的硬件基础。

## 附图说明

[0043] 图1为本发明实施例二的THz回波高温温度测量装置的结构框图;

[0044] 图2为本发明实施例二的THz回波高温温度测量装置工作流程与模块框图示意图;

[0045] 图3为本发明实施例二的THz信号采集处理单元的结构框图;

[0046] 图4为本发明实施例二的THz信号转换和处理GPGPU模块的结构框图。



[0047] 附图标记:

[0048] M0:被测高温对象;M1:THz波采集光学镜头;M2:THz量子级联激光器QCL;M3:THz量子阱探测器QWP;M4:激光雷达测距仪;M5:信号放大器;M6:源信号前置放大器;M7:锁相放大器LIA;M8:THz信号采集处理单元;M9:THz信号转换和处理GPGPU单元;M10:上位机;U0:待测高温对象模块;U1:THz信号采集处理FPGA模块;U2:THz信号转换和处理GPGPU模块;U3:上位机通讯模块;S1、FPGA THz信号采集处理子单元;S2、FPGA激光雷达测距信号实时高精度采集子单元;S3、FPGA THz参考信号及回波信号时域谱采集子单元;S4、DDR4闪存子单元;S5、THz时域信号输入子单元;S6、激光测距信号输入子单元;S7、THz参考信号及回波信号时域谱及激光雷达测距信号输出子单元;D1:MPU众核处理机;D2:众核控制子单元;D3:众核处理器;D4:PCI-E主板;D5:主存RAM;D6:存储ROM;D7:预设核心处理任务单元;D8:数据总线单元;D9:代码命令编辑执行区单元。

### 具体实施方式

[0049] 为了便于理解本发明,下文将结合说明书附图和较佳的实施例对本发明作更全面、细致地描述,但本发明的保护范围并不限于以下具体的实施例。

[0050] 以下结合附图对本发明的实施例进行详细说明,但是本发明可以由权利要求限定和覆盖的多种不同方式实施。

[0051] 实施例一

[0052] 本发明实施例一提供的THz回波高温温度测量装置包括THz信号采集处理FPGA模块和与THz信号采集处理FPGA模块连接的THz信号转换和处理GPGPU模块,其中:

[0053] THz信号采集处理FPGA模块,用于采集THz参考信号时域谱、THz回波信号时域谱以及被测高温对象与THz回波高温温度测量装置之间的距离;

[0054] THz信号转换和处理GPGPU模块,用于根据THz参考信号时域谱、THz回波信号时域谱以及距离获得被测高温对象的温度值。

[0055] 本发明提供的THz回波高温温度测量装置,包括THz信号采集处理FPGA模块和与THz信号采集处理FPGA模块连接的THz信号转换和处理GPGPU模块,其中THz信号采集处理FPGA模块,用于采集THz参考信号时域谱、THz回波信号时域谱以及被测高温对象与THz回波高温温度测量装置之间的距离,THz信号转换和处理GPGPU模块,用于根据THz参考信号时域谱、THz回波信号时域谱以及距离获得被测高温对象的温度值,解决了现有非接触式测温装置在复杂恶劣环境下对高温物体温度检测精度低的技术问题,巧妙利用太赫兹波穿透性强的特点,在保证复杂环境中还能接受到太赫兹信号,从而对被测高温源进行精确测温,同时具有非接触的特点,这对于高温物体复杂环境内的测温具有重要意义。

[0056] 实施例二

[0057] 如图1所示,本发明实施例二提供的THz回波高温温度测量装置由被测高温对象M0、THz波采集光学镜头M1、THz量子级联激光器QCL M2、THz量子阱探测器QWP M3、激光雷达测距仪M4、信号放大器M5、源信号前置放大器M6、锁相放大器LIA M7、THz信号采集处理单元M8、THz信号转换和处理GPGPU单元M9、上位机M10等部分组成。其具体的工作流程为:首先,由THz量子级联激光器QCL M2产生指定THz频率的THz波信号,并将其分成全同两部分信号,其中一部分通过THz波采集光学镜头M1传输、聚焦到被测高温对象M0上,而另一部分则作为

THz参考信号进入信号放大器M5;其次,被测高温对象M0反射回来THz回波信号,再由THz波采集光学镜头M1传输、聚焦到THz量子阱探测器QWP M3上,并将由QWP感知的THz回波信号,经过源信号前置放大器M6放大;再次,将放大后的THz参考信号、回波信号同时输入锁相放大器LIA M7,提取淹没在噪声中的THz参考信号时域谱和回波信号时域谱,以及采集的由激光测距仪的激光测距信号,同步输入到THz信号采集处理模块FPGA,获取THz参考信号时域谱、THz回波信号时域谱以及被测高温对象M0距离THz回波高温温度测量装置的距离;然后,再将THz参考和回波信号时域谱及距离信息,输入到THz信号转换和处理模块GPGPU中,由GPGPU中预先编写的算法程序,实现THz波时域谱的线性快速傅立叶变换、提取指定工作THz频率下幅值偏差量 $\Delta E$ ,并利用THz回波温度模型获取待测高温待测对象的真实温度,并输出;最后,由上位机通讯模块将获得温度数据上传给上位机M10,完成整个测温过程。

[0058] 具体地,经过当前最新关于THz波性质的理论研究可知,高温对象均会自发性对外辐射出全谱电磁波,而且对象温度越高,辐射电磁波能量越大。但辐射的电磁波强度在相同温度下,不同的频段强度是不同的,尤其是在THz频段,能量尤其低。因此,要利用THz波的强穿透性,来克服环境中粉尘、烟雾、噪音等干扰,实现对高温对象进行测温,就必须提高能反应被测对象温度高低的THz波信号能量强度和信噪比,使其达到能被QWP探测的程度。因此,本实施例先主动发射功率可控可调的被测高温对象M0测温敏感的THz频段波,照射到高温对象上,由于高温对象本身也会辐射该频段的THz波,且该频段THz波的辐射强度随温度正相关变化,导致从高温对象上反射回来的THz回波能量叠加了高温对象在该频段自身辐射THz波的能量,使THz回波能量达到了足够的能量裕度,能被QWP探测器探测到。同时为了提高THz回波信号反应被测对象温度信息的信噪比,在探测到指定工作THz频率下THz回波信号的幅值(能量强度)后,将其与参考THz波信号的幅值进行做差,提取该频段发射的参考THz波和测量的THz回波的幅值偏差量 $\Delta E$ ,作为反应被测高温对象M0温度高低的关键量,从而达到提高THz回波信号反应被测高温对象M0温度信息的信噪比的目的。

[0059] 从上述THz回波高温温度测量装置工作流程中来看,该温度测量装置主要包含如图2所示的4个主要功能模块,依次为待测高温对象模块U0、THz信号采集处理FPGA模块U1、THz信号转换和处理GPGPU模块U2和上位机通讯模块U3。为了进一步说明清楚各个单元组成和功能,下述将分单元依次说明。

[0060] (1) 待测高温对象模块U0

[0061] 被测高温对象M0是指在实际应用中,需获得其实时温度的对象,且通常其温度远高于其所处环境温度。被测高温对象M0可是固体、液体、熔融体等能对THz波产生反射波的物体。

[0062] (2) THz信号采集处理FPGA模块U1

[0063] 根据图2的描述,该模块主要完成三个功能,即实现THz参考信号时域谱、THz回波信号时域谱和测距激光雷达测距信号的采集。要实现该模块上述的功能,由图1可知,THz信号采集处理FPGA模块需由以下硬件模块组成,即THz波采集光学镜头M1、THz量子级联激光器QCL M2、THz量子阱探测器QWP M3、激光雷达测距仪M4、信号放大器M5、源信号前置放大器M6、锁相放大器LIA M7、THz信号采集处理单元M8等。其中THz波采集光学镜头M1和THz信号采集处理单元M8是该模块中最为重要的两个核心器件。其结构和功能具体阐述如下:

[0064] 1) THz波采集光学镜头M1是由一组太赫兹镜片离轴抛物镜(OAP)、BS光学镜片和PM

镜片组成,结合复杂的光路设计技术,构建的一套THz光学聚焦和传输光学系统;

[0065] 2) THz信号采集处理单元M8则是以FPGA芯片作为主开发芯片,开发的嵌入式模块,该单元的结构图如图3所示,在THz信号采集处理单元FPGA平台上,在FPGA THz参考信号及回波信号时域谱采集子单元S3和FPGA激光雷达测距信号实时高精度采集子单元S2中,预载了THz信号和激光雷达信号采集处理算法的硬件逻辑电路。该算法的工作流程为:首先,通过接受图1中锁相放大器LIA M7、源信号前置放大器M6和激光雷达测距仪M4的信号采集命令,开始将传递过来的按照信号类型的不同,分别输入对THz时域信号输入子单元S5和激光测距信号输入子单元S6中,进行信号采集;然后由FPGA中编写的预置信号采样算法和模数转换算法,对THz信号和激光测距信号进行采集处理,并将处理好的信号结果储存在DDR4闪存子单元S4中;最后由THz参考信号及回波信号时域谱及激光雷达测距信号输出子单元S7将采集好的信号输出。

[0066] (3) THz信号转换和处理GPGPU模块U2

[0067] 根据图2,该模块是整个测量设备的测量算法实现的核心单元,其主要功能包括对THz参考信号时域谱和THz回波信号时域谱进行线性快速傅立叶变换,获得THz参考信号频域幅值谱和THz回波信号频域幅值谱、提取指定工作THz频率下THz参考信号频域幅值谱与THz回波信号频域幅值谱的幅值偏差量 $\Delta E$ 、采集被测高温对象M0与THz回波高温温度测量装置之间的距离以及基于THz回波测温模型计算被测高温对象M0的温度,基于THz回波测温模型通过对输入数据和输出数据进行拟合获得,输入数据为标定的距离和幅值偏差量,输出数据为与距离和幅值偏差量对应的温度值。

[0068] 其中,MPU众核处理机D1处理对THz回波信号时域谱进行线性快速傅立叶变换,获得THz回波信号频域幅值谱的任务命令包括利用传统快速傅立叶变换算法,对THz回波信号时域谱进行变换,对采用传统快速傅立叶变换后的THz回波信号时域谱,进行线性快速傅立叶变换,获得THz回波信号频域幅值谱,其中线性快速傅立叶变换的计算公式为:

$$[0069] \begin{cases} \dot{A}_k = 2u_k \sum_{n=0}^{N-1} \frac{x_n}{N} e^{-jnk\frac{2\pi}{N}} - Z_k \frac{x_0 - x_n}{N} = 2u_k \dot{A}_{kF} - Z_k F \\ Z_k = u_k + jv_k \\ F = \frac{x_0 - x_N}{N} \end{cases}, \text{其中}, \begin{cases} u_k = \frac{N^2}{4k^2\pi^2} \left( 1 - \cos \frac{2k\pi}{N} \right) \\ v_k = \frac{N}{2k\pi} - \frac{N^2}{4k^2\pi^2} \sin \frac{2k\pi}{N}, \dot{A}_k \\ \text{当 } k=0, u_0 = \frac{1}{2}, v_0 = 0 \end{cases}$$

代表k次谐波的复振幅,  $\dot{A}_{kF}$  为传统的FFT算法傅立叶变换后的THz回波信号时域谱结果,  $x_0$ ,  $x_n$  为信号离散的采样点,  $Z_k x_0, x_n$  为变换辅助复数,  $u_k$  为辅助复数的实部,  $v_k$  辅助复数的虚部, 为N为采样点数, F为采样步长, k代表第k个采样变换点。

[0070] 本实施例采用线性快速傅立叶变换(LFFT)算法提取THz波频域谱的流程为:先利用传统快速傅立叶变换(FFT)算法,对THz波时域谱进行变换,再将变换结果代入(LFFT)算法的式(1)、(2)中,对k次谐波的复振幅 $\dot{A}_k$ 进行修正,从而达到提高变换精度的目的。综上,通过采用线性快速傅立叶变换(LFFT)算法,实现对THz参考信号及回波信号的时域谱的高速、高精度频率变换,获得其频域谱。

[0071] 而上述所需实现功能的算法均被嵌入化到图1中所示的基于众核处理机设计的

THz信号转换和处理GPGPU模块U2中。而对于THz信号转换和处理模块是一个以众核处理机GPGPU为核心的硬件平台的嵌入式系统,其是基于CUDA与Hyper-Q流混合编程模式开发的,其结构图如图4所示。其构成包括:

[0072] 1) 众核处理机GPGPU,其是由采用X64结构的MPU众核控制子单元D2和众核处理器D3GPU两部分组成,众核控制子单元D2和众核处理器D3由高速的PCI-E主板D4总线互连,且众核控制子单元D2和众核处理器D3均有其专属内存单元,分别为主存RAM D5和存储ROM D6。

[0073] 2) 预设核心处理任务单元D7,其本身是一个储存器,预先储存着各种待处理任务的算法和对应任务命令,在本发明实施例中主要包括THz信号线性快速傅立叶变换(LFFT)算法、提取指定工作THz频率下幅值偏差量 $\Delta E$ 算法和构建基于测温距离和幅值偏差的THz回波测温模型算法。

[0074] 3) 代码命令编辑执行区单元D9,其主要负责在众核处理系统运行时,实时获取上游和下游设备发送给众核处理机的任务命令,并实现好任务调度、任务配置和任务管理功能。在任务配置方面,预先配置各种待处理任务所需的任务信息,包括任务运行时所需的存储空间大小、适合于该任务的计算模式和执行函数(即CUDA中的kernel函数)等内容,并根据任务优先级,分配好众核控制子单元D2MPU的主存RAM D5和众核处理器D3GPU的存储ROM D6空间;在任务管理方面,主要负责任务在被加载前,把GPGPU处理器切换到指定的计算模式下,再通过数据总线单元D8获取任务数据,并从预设核心处理任务单元D7中读取当前任务计算算法,加载执行函数进行计算。而在任务加载过程中,则根据该任务执行所需的硬件资源,实时分配任务运行时所需的存储空间大小、适合于该任务的计算模式、执行函数(即CUDA中的kernel函数)等,提高任务运行效率,保证任务顺利稳定执行;在任务调度方面,则主要是协调各个预处理任务的处理顺序,决定GPGPU处理器当前有线执行哪个预处理任务的算法。

[0075] 4) 数据总线单元D8,其主要是负责THz信号转换和处理GPGPU模块U2中各个单元间的数据交换,并为其提供数据传输交换的通道。

[0076] 基于上述对THz信号转换和处理GPGPU模块U2的功能和结构阐述和分析,该模块的具体工作流程为:首先,将如图1所示的THz信号采集处理FPGA模块获得的THz参考信号时域谱和THz回波信号时域谱以及激光雷达测距信息,传送给THz信号转换和处理模块GPGPU模块,并同时发出开始信号转换和处理命令信号;其次,代码命令编辑执行区单元D9接受到命令后,进行相关任务配置、任务管理和任务调度工作,为即将开始的新任务执行做好准备;然后,预处理的任务,如THz信号线性快速傅立叶变换(LFFT)、提取制定工作THz频率下幅值偏差量 $\Delta E$ 、构建基于测温距离和幅值偏差的THz回波测温模型等,在众核处理机GPGPU中,通过MPU和GPU协调工作下,高效并行的被处理完毕,并且再通过数据通信单元输出,完成整个工作流程。

[0077] 本发明提供的THz回波高温温度测量装置,包括THz信号采集处理FPGA模块和与THz信号采集处理FPGA模块连接的THz信号转换和处理GPGPU模块,其中THz信号采集处理FPGA模块,用于采集THz参考信号时域谱、THz回波信号时域谱以及被测高温对象与THz回波高温温度测量装置之间的距离,THz信号转换和处理GPGPU模块,用于根据THz参考信号时域谱、THz回波信号时域谱以及距离获得被测高温对象的温度值,解决了现有非接触式测温装

置在复杂恶劣环境下对高温物体温度检测精度低的技术问题,巧妙利用太赫兹波穿透性强的特点,在保证复杂环境中还能接受到太赫兹信号,从而对被测高温源进行精确测温,同时具有非接触的特点,这对于高温物体复杂环境内的测温具有重要意义。

[0078] 此外,本实施例通过采集的被测高温源发射的太赫兹实现对被测高温源的温度检测,能借助太赫兹的穿透特性减少环境中遮挡物对测温结果造成的误差,进一步提高被测高温源的温度检测精度。且本实施例的回波高温温度测量装置通过先主动发射功率可控可调的待测高温对象测温敏感的THz频段波,照射到高温对象上,由于高温对象本身也会辐射该频段的THz波,且该频段THz波的辐射强度随温度正相关变化,导致从高温对象上反射回来的THz回波能量叠加了高温对象在该频段自身辐射THz波的能量,使THz回波能量达到了足够的能量裕度,能被QWP探测器探测到。同时为了提高THz回波信号反应被测对象温度信息的信噪比,在探测到指定工作THz频率 $T_s$ 下THz回波信号的幅值(能量强度)后,将其与参考THz波信号的幅值进行做差,提取该频段发射的参考THz波和测量的THz回波幅值偏差量 $\Delta E$ ,作为反应被测对象温度高低的关键量,从而达到提高THz回波信号反应被测对象温度信息的信噪比的目的,进而提高测温精度。

[0079] 以上实施方式仅用于说明本发明,而非对本发明的限制。尽管参照实施例对本发明进行了详细说明,本领域的普通技术人员应当理解,对本发明的技术方案进行各种组合、修改或者等同替换,都不脱离本发明技术方案的精神和范围,均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

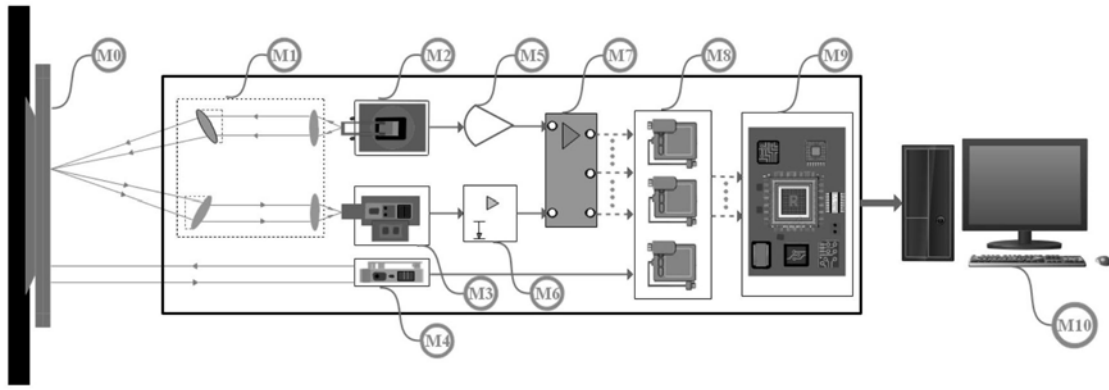


图1

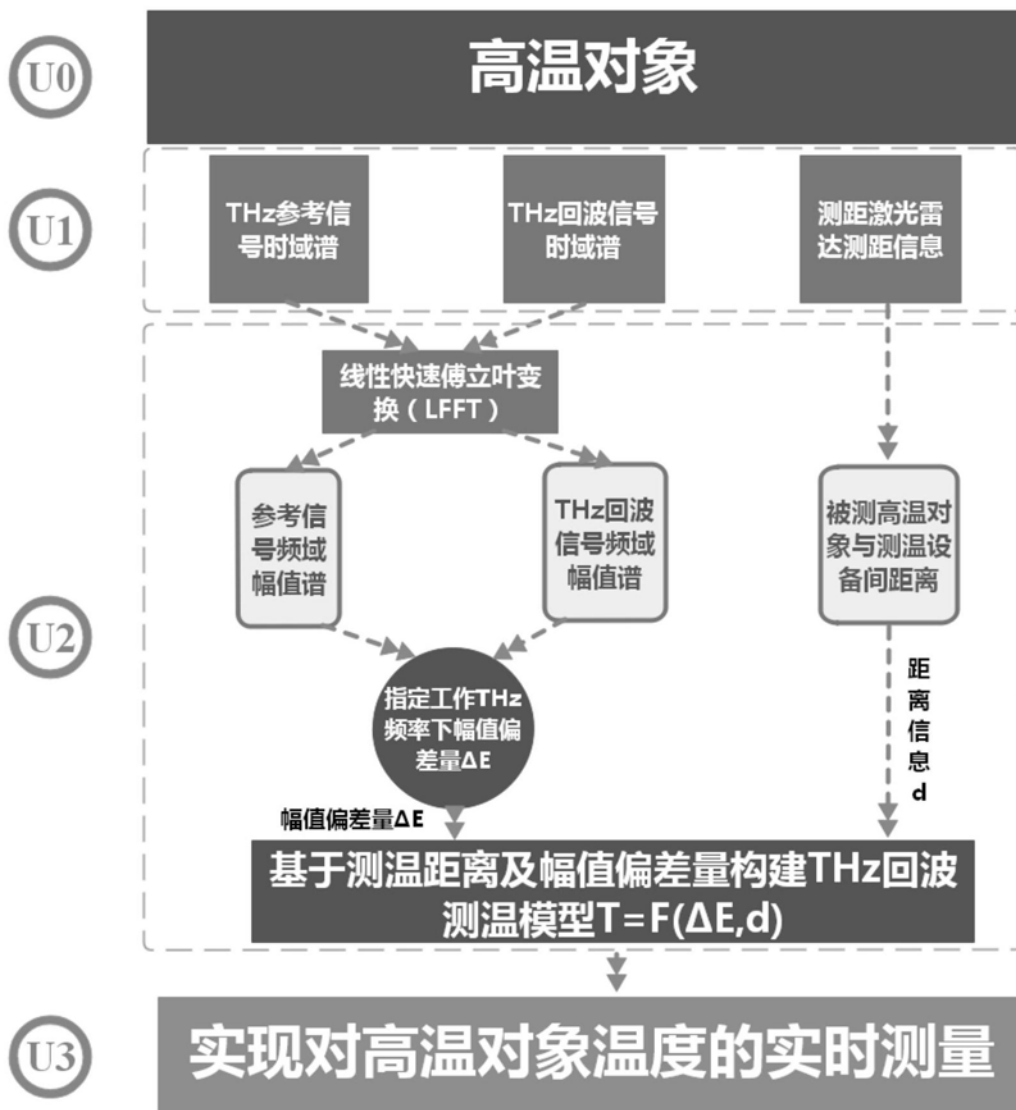


图2

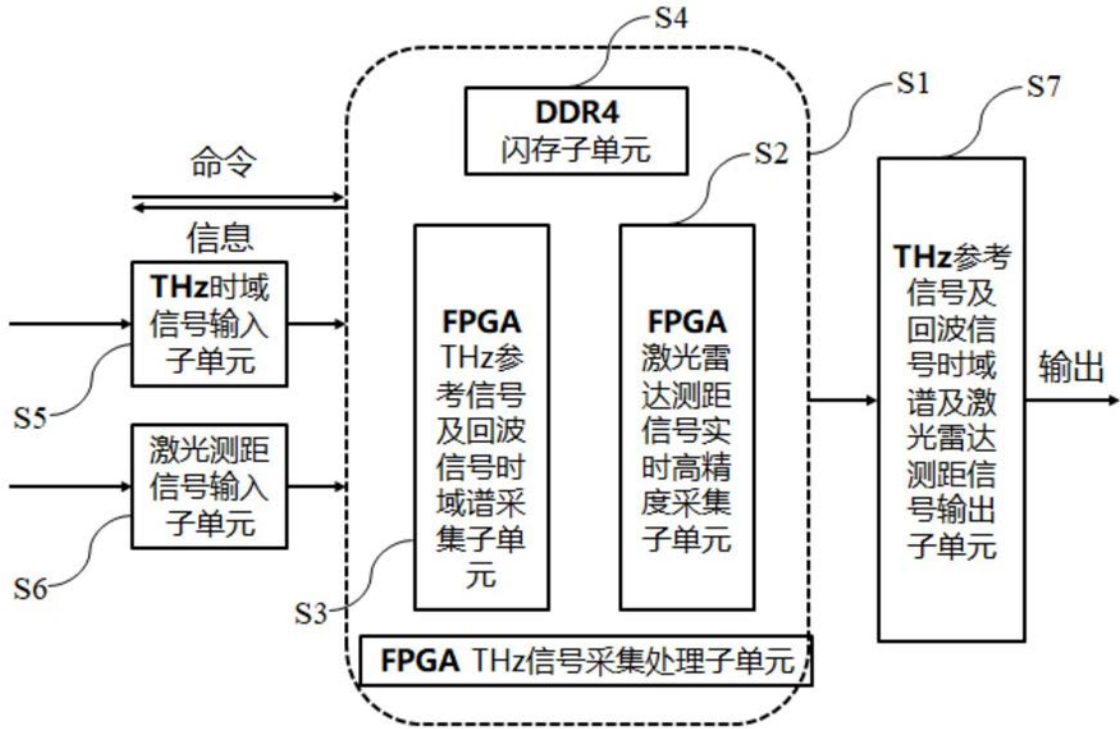


图3

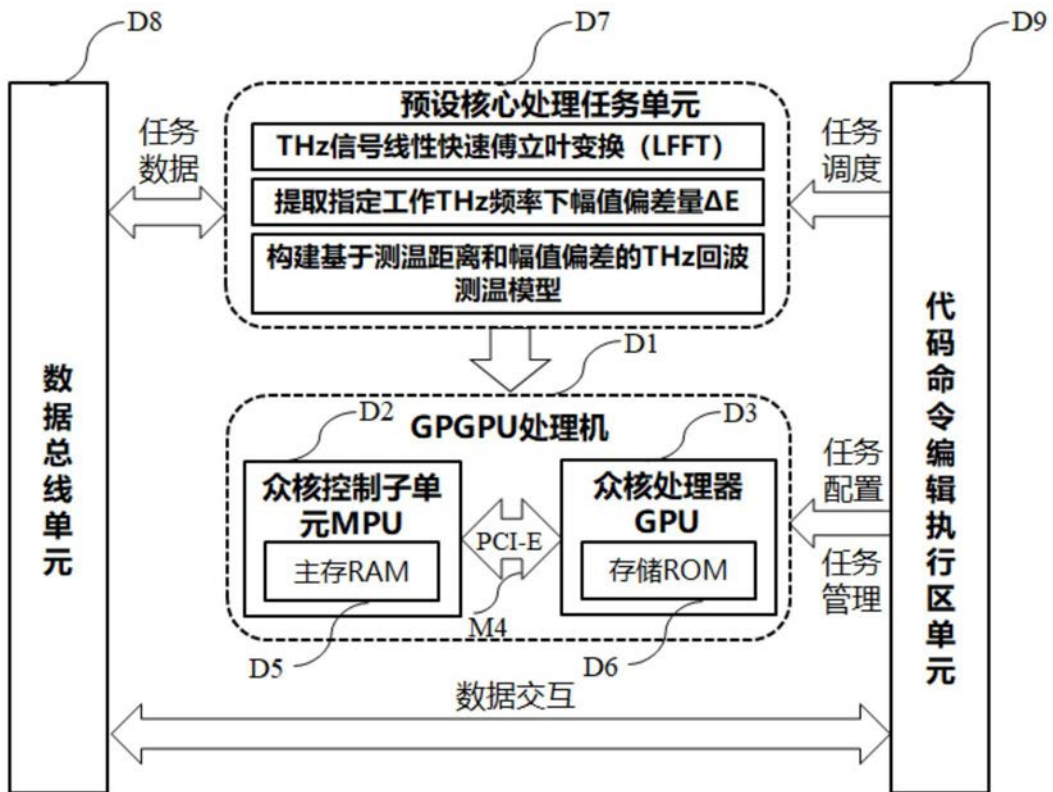


图4